

耐火炉 (水平炉・柱炉) の性能を測るラウンドロビン試験報告

その1 研究目的と試験概要

正会員 水上点晴* 正会員 遊佐秀逸* 正会員 西田一郎** 正会員 内川恒知**
正会員 繁永英毅** 正会員 田坂茂樹*** 正会員 田中義昭***

耐火炉 耐火試験 ラウンドロビン試験

1. はじめに

耐火構造部材の場合、要求耐火時間 (はりや柱の場合: 60分・120分・180分) の加熱を行い、構造部材の場合その安定性 (非損傷性) が、区画構成部材の場合その延焼防止性 (遮熱性・遮炎性) が、加熱終了時まで要求されるのはもちろんのこと、加熱終了後も保たれていることを確認する必要がある。このため耐火性能確認試験 (以後、耐火試験) は破壊試験でありながら、余力を残した状態で加熱を終了させ、終局的な性能を得ることが出来ないケースが多い。

また、対象とする構造物は一般に多種多様な材料が複層して構成されるため、試験体の製作時に含まれる施工誤差、材料や製品自体に存在するばらつき、さらには試験時の気象条件等の不確かさの影響を含んだ評価となってしまう、これに対し試験体 2 体を用いた繰り返し試験による繰り返し性 (Repeatability) の確認が行われているに過ぎない。

また壁炉に関しては日米加の試験機関合同ラウンドロビン試験による再現性 (Reproducibility) の見当が行われているが、水平炉、柱炉に関しては近年、再現性の確認は行われておらず、試験設備または職員の熟練度等に由来する試験結果のばらつきについてのチェックは行われてこなかった。

2. 目的

国内の水平炉、柱炉を有する試験機関において、同じ試験体、同じ条件でラウンドロビン試験を実施し、試験結果にバラツキがないことを、あるならば定量化して許容範囲内にあることを確認する。

バラツキの定量化について、耐火試験は詰まる所合否による二極判定であるが、余力たっぷりに合格する試験体での合否判定および最高到達温度やたわみ量の比較では、一般性を持ちうる評価・考察は行えず、選定試験体以外にとって有用なデータとはいえない。耐火試験が、合否による二極判定ということは裏を返せば、余力の量は評価されず、市場原理から要求耐火性能ぎりぎりの線を狙うことが多いと考えられる。本研究では、このようなぎりぎりの線上での合否の判定が

機関毎に変わらないことを確かめることが主眼である。

3. 方法

考えてみれば耐火試験では便宜上 60分・120分・・・といった風に区切りのよい線を設定しているだけで、これに囚われず、試験体を終局状態に至るまで加熱し比較することで、この目的を達成出来ると考える。要するに不合格となる案件を再現して到達耐火時間を比較することで、試験機関間のばらつきを耐火性能の表示単位である時間刻みで定量化することが可能となる。また終局性能におけるデータは有用性が高く、崩壊時の試験体温度の比較による材料のばらつきの特定等も可能である。

一方でラウンドロビン試験は、炉の性能はもちろんのこと、試験準備や装置の操作も含めた上で結果のばらつきを比較するものであり、その意味では今回のラウンドロビン試験が通常の試験方法を逸脱し、特別なものであってはいけない。通常、不合格となった案件でない限り、耐火構造に要求される火災終了後の冷却期間 (余力) の観察のため、終局に至るまで加熱は行なわれないが、対象とする構造物が不燃材料のみで構成される場合は、要求耐火時間の 1.2 倍の加熱をもって、冷却期間の観察に代える試験法も認められており、通常の試験方法の範疇であると考えられる。

4. 参加試験機関

(財) 建材試験センター 中央試験所 (水平炉・柱炉)
(財) 建材試験センター 西日本試験所 (水平炉)
(財) 日本建築総合試験所 (水平炉・柱炉)
(財) ベターリビング (水平炉)

5. 試験装置および試験方法

表 1、2 に機関間の耐火炉および載荷装置の構造比較を示す。炉内に設置したシーブ型熱電対によって測定した温度 (以下、「加熱温度」という) の時間経過が、次の式で表される数値となるよう加熱を行なう。

$$T=345\log_{10}(8t+1)+20$$

T は平均炉内温度 ()、t は試験の経過時間 (分)

加熱中、長期許容応力度に相当する応力度が生じるように载荷を行なう。試験荷重は支点間距離と炉蓋や载荷治具の荷重を考慮して、機関毎に算定した。

表 1 耐火炉の構造比較

		水平炉	柱炉
有効加熱面	幅	2000mm ~ 3000mm	2000mm
	長さ	4000mm	2000mm ~ 3000mm
	高さ	1080mm ~ 2000mm	3500mm ~ 3580mm
熱源		都市ガス, 軽油, 灯油	都市ガス, 軽油
バーナー		15台 ~ 24台	16台 ~ 20台
炉壁被覆		セラミックファイバー	セラミックファイバー
制御方式		自動, 手動	自動

表 2 加力装置の構造比較

	水平炉	柱炉
支点間距離	5100mm ~ 5400mm	3300mm ~ 3500mm
支点支持	両端ピン, 両端ローラー	両端ピン
载荷方式	3等分2線	
加圧能力	300kN ~ 1000kN	5MN ~ 10MN
制御方式	自動, 手動	自動

6. 試験体の選定(水平炉):

[アルミナシリケート系繊維ブランケット被覆鉄骨梁]

対象とする水平炉の用途として、はりや床、屋根の耐火性能確認試験が挙げられる。今回は費用の観点から、試験体を1種類に限定したため、この中から構造部材のはりを選定した。但し、はりの試験体周囲を覆う炉蓋を床や屋根の面材に見立て、裏面温度を測定することで、これら区画構成部材の遮熱性・遮炎性も副次的に考察する。

ラウンドロビン試験の目的が、その操作を含めた耐火炉の比較であるため、それ以外の不確かさ性である施工誤差、材料のばらつきがなるべく排除できるような試験体として、鉄骨はりを選定、鋼材を同一ロットのSN材とした。鋼材寸法は標準材と呼ばれる H400 × 200 × 8 × 13 である。

耐火炉で用いる標準加熱曲線は、立ち上がりの温度上昇が大きく、加熱温度の制御が難しいため、各機関の業務方法書においても加熱初期の許容誤差を15%まで認めている。この影響を少なくするため、到達耐火時間が2時間程度となるような被覆材を検討した。またある種の被覆材は、試験条件に規定のない炉内酸素

濃度に影響を受けることが報告されており、これらを鑑みて乾式工法で施工手数が少なく、酸素濃度によって変質しないアルミナシリケート系繊維ブランケット(25mm)を被覆材として選定した。また幅広のものを扱い、継ぎ目を設けないこととし、試験体施工は同一の技術者によって行っている。

7. 試験体の選定(柱炉):

[アルミナシリケート系繊維ブランケット被覆鉄骨柱]

試験体として、はりと同様、H形鉄骨柱及び角形鋼管柱を選定、同一ロットのSN材とし、アルミナシリケート系繊維ブランケット(厚さ12.5mm又は25mm)被覆とした。

鋼材寸法は標準断面(従来標準材と呼ばれる -300 × 300 × 9mm)を基本とし、標準断面の大小それぞれ1体の3仕様とした。被覆材であるアルミナシリケート系繊維ブランケットの厚さについては、到達耐火時間が標準断面で1時間程度、大断面で2時間程度となるような仕様を、小断面については実施工で想定される仕様を選定した(表1参照)

表 3 試験体仕様

試験体	鋼材寸法・材種(mm)	被覆材厚さ(mm)	目地部処理	想定(到達耐火時間)
小断面	H-200 × 200 × 8 × 12 (SN材)	12.5	幅 50mm (耐火接着剤 + ピン固定)	30分
標準材	-300 × 300 × 9 (SN材曲げ加工)	25	幅 100mm (耐火接着剤 + ピン固定)	1時間
大断面	-500 × 500 × 16 (SN材曲げ加工)	25	幅 100mm (耐火接着剤 + ピン固定)	2時間

8. まとめ

今回のラウンドロビン試験は载荷加熱試験であるため、加力装置と加熱装置(耐火炉)2つの比較が含まれている。但し鉄骨の梁、柱は工業製品として均質で、崩壊モードが壁や床面といった面材に比べ線材として比較的単純であるほか、鋼材温度と許容荷重の関係に対する知見が蓄積されているため、十分に考察が可能と判断した。なにより構造部材である梁、柱の耐火試験は、一般的に载荷による非損傷性(たわみ量・軸方向収縮量)の評価であり、これに倣うこととした。

* (財)ベターリビング
 ** (財)建材試験センター
 *** (財)日本建築総合試験所

* Center for Better Living
 ** Japan Testing Center for Construction Materials
 *** General Building Research Corporation of Japan